

二、项目简介

项目简介（限1000字）

地下空间是人类赖以生存的资产，是城市得以繁荣发展的基础，被认定为“新型国土资源”。随着城市地下空间开发利用步伐加快，地下海量异构数据迅速积累，亟须采取信息化手段对地下空间信息进行集成管理、分析与服务。现阶段，国内地下空间信息化工作主要聚焦在对地质环境、地下管线等单一领域的服务与支撑，整体呈现碎片化现象严重、系统之间相互割裂、难以协同等态势，至今尚未形成一套统一完整的地下空间信息化管理技术体系和平台产品，难以满足新时代地下空间安全、高效、协同开发的要求。

项目旨在顺应国家新型智慧城市建设，以城市地下空间开发利用和地球深部探测等政策为导向，瞄准地下空间信息化管理与智慧化决策的重大需求，历经多次技术攻关，解决了地上地下一体化数据存储与融合、三维属性模型分析应用等一系列技术难题，研发了集地下空间信息集成、快速建模、可视化表达与科学决策为一体的“一站式”信息服务平台，为服务地下空间开发利用、保障地下空间科学管理提供支撑。项目主要技术内容与创新有：

（1）从标准编制上，在编制3部项目级标准规范基础上，为主编国家标准《地下空间信息系统建设技术规范》（征求意见稿）进行了有益探索与实践。

（2）从技术攻关上，突破了8项平台构建关键技术，打通了智慧地下空间信息化核心技术关键环节，形成的地上地下全空间一体化智慧管理技术体系、三维属性模型建设与应用技术方法经专家鉴定达到国内领先水平。累计申请发明专利5项、软件著作权11项、发表科技论文2篇。

（3）从产品研发上，完成了以地下空间有机整体为研究目标的信息化服务产品研发，实现了地下空间数据一体化管理、应用和决策分析，为城市地下空间规划、建设、运维提供全方位、高效的信息服务。该平台产品已通过软件测评并获得相应证书，且于2019年获得北京市第九批新技术新产品（服务）认定。

（4）从工程应用上，打造完成了1个国家级新区和12个城市级示范工程，成功应用于雄安新区、杭州和成都等国内城市地质和地下空间开发利用管理信息化样板工程，并在宿州等多个地下空间信息化相关项目中应用实施，取得了良好的社会、经济效益。近年来，我国对地下空间的开发利用愈加重视，做足城市“向下”的文章，正逐渐成为潮流和趋势。本项目成果革新了地下空间信息化领域单一、割裂的局面，将有力推动地下空间精细化管理，夯实新型智慧城市建设与国土空间规划体系建设的地下基础，具有广阔的市场价值与应用前景。

三、科技创新

科技创新（限5000字）

（一）立项背景

现代城市发展是一个“上天入地”的立体化过程，城市地下空间开发利用已成为关乎国计民生的焦点问题，只有实现地上地下协同规划，合理开发利用地下空间资源，才能实现人口、资源、环境的可持续发展。

国际上，地下空间信息化在理论研究、平台研发和实际应用等方面较为成熟，较早应用GIS等技术对地下管线、构（建）筑物数据进行建库、展示与决策支持，并相继推出相关地下空间专项平台，如ArcFM等。相比国外，我国城市地下空间的信息化建设尚处于初级阶段，同时由于我国地下空间管理工作多系统、多部门主导，致使整体呈现碎片化现象严重、系统之间相互割裂、难以协同等态势，城市地下空间数据的组织和管理手段存在缺陷，缺乏科学完整的技术体系以及有效的信息共享机制，而且至今尚未形成一个较为完善的城市地下空间信息化管理系统。

为解决上述问题，亟需将地下空间作为一个有机整体加以规划建设，通过研究地下空间信息化关键技术，研发智慧地下空间信息平台，实现地下空间全要素、全空间、全过程数据的集成管理。然而，地下空间数据种类繁多，如何进行海量多源异构数据的组织存储与融合、地下空间数据的三维建模、海量地上地下全空间数据可视化渲染调度、三维属性模型时空插值计算等依然是行业难题。

项目以地下空间信息化标准体系研制→地下空间信息化关键技术攻关→核心技术集成与平台研发→工程化应用与服务为主线，对上述行业疑难问题和技术瓶颈进行精钻深研，旨在攻克地下空间信息化行业关键技术、研发一体化地下空间综合信息管理系统与专项应用平台，为相关部门提供“一站式”地下空间信息服务。

（二）科技含量

1、总体思路

项目以地下空间海量数据管理为基础目标，融入地下空间“全生命周期管理”理念，通过研制地下空间信息化标准体系、突破地上地下一体化数据存储与融合等8项关键技术、研发地下空间“一站式”信息服务平台，实现对地下空间数据一体化管理和应用，助力城市地下空间精细化管理与智慧化决策。

2、技术方案与创新成果

（1）项目技术路线

1) 构建《地下空间数据库建设标准》、《全空间三维模型入库规范》、《城市地质三维属性模型应用数据标准》项目级标准体系，以规范地下空间信息储存、管理与分析；

2) 攻克8项核心技术难点，打通构建智慧地下空间信息平台的关键技术环节；

3) 结合标准规范进行数据库设计，攻关数据集成融合难题，建立地下空间综合数据库，实现对基础地理、城市地质、地下空间设施、动态监测和专题业务等地下空间数据的统一入库管理和更新；

4) 研发智慧地下空间基础平台和专项应用平台，实现对地下空间数据的一体化管理

、综合应用与专项分析服务。

(2) 解决的关键技术

1) 地下空间数据三维智能建模技术

攻克三维地质结构模型的“多元数据→多方法集成→多层次干预”交互式建模技术和“分区→拼接”交互式半自动建模技术，研究三维地质属性模型的克里金插值、序贯高斯模拟等方法以及三维地下空间构（建）筑物模型的自动拉体建模、分类语义化建模和地下管网三维模型自动建模方法，形成一整套地下空间数据三维建模技术和方法。

授权发明专利“一种地下管网三维模型的生成方法及系统”（ZL 201610800153.3）。

2) 地上地下一体化数据组织存储与融合技术

基于地上地下全空间整体认知与时空信息作用机理，研究地上地下全空间统一框架结构与协同表达方法，将地上地下全空间剖分为足够精细的立体网格，作为地上地下一体化数据组织的框架支撑。把多元、多尺度、多语义、多模态等特征的地上地下全空间大数据映射到统一空间，构建统一时空基准下的时空对象关联关系。确定地上地下一体化模型融合的基准面，通过开发的一系列数据融合工具，按照统一坐标系、统一比例尺进行模型装载与融合，实现地上地下数据的无缝融合。

申请发明专利“一种三维网格数据的存储空间划分方法及系统”（2019 1038 3364.5）。

3) 地下空间数据三维可视化引擎

采用GPU和CPU混合渲染架构、基于四叉树或八叉树划分的空间索引、实例化、LOD、场景视锥体剪裁、对象压缩等技术，形成支持Direct3D和OpenGL双引擎的海量地下空间数据三维可视化引擎，实现TB级地下时空数据的真实感可视化与高效调度。

申请发明专利“一种海量三维网格数据的调度渲染方法及系统”（2019 1038 3420.5）。

4) 海量三维地质属性模型调度技术

研究基于空间位置特征的海量三维地质属性模型存储空间划分方法，将分块、分片的海量三维地质属性模型数据分别存储在不同的逻辑存储单元中。同时，研究海量三维地质属性模型调度渲染中的不可见数据过滤技术极大优化显示效率。此外，研究分布式数据库并建立分库和分表规则以及分布式应用服务器和缓存机制，大幅提升批量三维模型加载、查询时的负载管理能力。

5) 三维立体空间索引技术

基于GeoHash算法，利用立体网格剖分技术，在高程维度按设定规则剖分并编码，形成立体空间三个维度的编码方法；针对地球三维立体空间中的各类数据进行索引，实现全球地上地下全空间统一编码。在地上地下全空间范围建立空间索引，大幅提高地上地下全空间的数据管理和数据检索的效率。

申请发明专利“一种三维立体空间索引方法及系统”（2019 1014 8501.7）。

6) 基于地质约束的三维地质属性模型时空插值方法

基于地质条件进行分区，提高插值精度。在此基础上对不同的地质条件分区进行水平方向及垂直方向上的插值计算，对非平稳时间序列进行平稳化处理，利用求和自回归移动平均模型进行时间序列建模分析、评估和预测，利用协方差模型实现时空属性的融合，完成地质模型的属性赋值，保证插值后时空数据的完整性。

申请发明专利“一种三维地质属性模型时空插值方法及系统”（2019 1038 3366.4）。

7) 三维属性模型分析应用技术

在三维结构模型基础上，将三维立体空间剖分为多等级的三维立体网格，形成统一比例的地下空间网格模型，之后将多元化的属性信息分散赋值到每个单元网格模型中，利用三维数据可视化技术、空间插值算法建立起反映某种参数在三维空间中分布变化情况的三维精细模型，研究属性模型定量计算方法，支持对三维属性模型的查询和统计、剖切、开挖分析、属性计算等综合应用功能。

8) 地下空间规划建设辅助决策技术

结合需求探究知识驱动型辅助决策模型实现过程，研究基于业务流和事件协作的任务分解方法，掌握科学分析模型中插值算法、空间分析算法等核心技术，通过构建大型建筑物建设适宜性分析、地下轨道交通选址分析、地下空间利用适宜性分析、地下剖面分析等多尺度辅助决策分析模型，实现地下空间定性、定级及定量分析评价，为政府管理部门与规划设计部门的相关决策工作提供参考依据。

(3) 技术创新及创新成果

基于关键技术研究共申请发明专利5项（已授权1项），获取软件著作权11项，发布科技论文2篇，并主编国家标准1部。形成地上地下全空间一体化智慧管理技术体系，满足地上地下全空间一体化数据组织存储与融合、可视化展示、数据分析预测与评价的应用需求；创新三维属性模型从建设到应用全流程技术方法，打通了从模型构建到各项专业分析应用涉及的各项技术环节。

3、实施效果

通过技术研发和创新，突破了地下空间信息化领域的技术瓶颈，提升了地下空间系列产品竞争力，丰富和完善了地下空间信息化理论体系，推动了地下空间信息化行业技术进步。

项目成果已处于规模化推广阶段，应用范围触及整个地下空间信息化领域。平台已在1个国家级新区、12个地级城市实现工程应用，取得了良好的应用效果和逾8亿元的直接经济效益，为实现地下空间协同开发利用提供了标志性、普适性示范。

(三) 创新点

通过关键技术攻关、技术方法集成、平台研发和工程应用，取得以下创新与突破：

1、形成地上地下全空间一体化智慧管理技术体系

(1) 地上地下全空间一体化数据组织存储和融合技术。

采用立体空间索引技术将地上地下全空间剖分为足够精细的立体网格，通过地上地下全空间多源、多时相海量异构矢量、影像、模型等数据的一体化组织存储模型，把多元、多尺度、多语义、多模态等特征的地上地下全空间大数据映射到统一空间，构建

统一时空基准下的时空对象关联关系；并通过研发布尔运算工具，实现地上地下数据的无缝融合。

(2) 地上地下全空间一体化数据可视化技术。

采用GPU和CPU混合渲染架构、四叉树或八叉树划分的空间索引技术、LOD、场景视锥体剪裁、对象压缩等技术，自主研发形成海量地下空间数据三维可视化引擎，实现TB级地上地下时空数据的一体化精准表达。

(3) 地上地下全空间一体化数据分析、预测、评价技术。

从全域视角出发，基于三维属性模型和分布式计算技术，结合数字孪生城市模型和业务数据模型实现地上地下全空间分析、预测与评价，满足数据查询、更新、统计、模拟分析和预测评价的需要。

2、创新三维属性模型从建设到应用全流程技术方法

(1) 三维属性模型构建

1) 基于地质约束的三维地质属性模型时空插值方法。在地质分区的基础上，采用反距离加权插值算法、空间圆弧插补方法等对插值区域进行四维时空插值，解决传统的平面插值法未考虑时间和空间要素影响的问题。

2) 三维立体空间索引算法。基于GeoHash算法，利用立体网格剖分技术，在高程维度按设定规则剖分并编码；针对地球三维立体空间中的各类数据进行索引，实现全球地上地下全空间统一编码；有效降低全球全空间数据管理的复杂程度，减少空间数据查询检索的时间。

(2) 三维属性模型管理与可视化

1) 提出基于空间位置特征的海量三维地质属性模型存储空间划分方法，通过将很大数据量的三维网格数据划分为分散的空间相连的小数据存储到不同的逻辑单元中，实现有限存储资源和计算单元的最大化利用。

2) 形成海量三维地质属性模型调度渲染中的不可见数据过滤技术，通过对抽稀分级后三维方向上不可见的空间单元进行过滤，确定最粗糙级别的空间单元并进行分块处理，得到多个调度单元进行渲染可视化，通过多层过滤，在不损失可视化效果的前提下，显示效率提升50%以上。

(3) 三维属性模型分析应用

充分挖掘属性模型在定量化分析计算方面的优势，实现对三维地质属性模型的查询统计、剖切、开挖分析和属性综合计算等综合应用功能。

(四) 保密方面

暂无需要保密内容。

(五) 国际比较

目前国内地下空间领域企事业单位或研究机构尚未实现对地下空间整体数据进行全面、统一、协同管理，不能全面综合利用工程勘察信息、地质属性模型、地下空间设施监测数据对城市规划、建设进行辅助决策评价，并提供地下空间事故灾害应急响应等服务。智慧地下空间信息平台正是基于上述背景和目的展开的研究。据可查资料，对于海量地下空间数据可视化渲染调度和基于立体空间网格模型的计算分析技术在国内

较为少见。

智慧地下空间信息平台从地上地下全空间层面出发，搭建地下空间理论框架，基于复杂的三维空间关系和城市尺度场景数据，刻画各地理实体之间的相互关系，综合考虑复杂的三维语义拓扑关联关系，结合三维空间索引、三维布尔运算等算法进行高效、精确的三维实体分析计算，从而使城市级地下空间分析与决策成为可能，并在地下轨道交通选址以及大型建筑物建设适宜性分析等方面进行了相关安全分析和评价工作。通过解决复杂地下时空对象描述、生成、仿真、管理、分析、可视化等方面的难题，突破了地上地下多源数据融合、海量地上地下全空间数据可视化渲染调度和基于立体空间网格模型计算分析等一系列理论和技术瓶颈，并取得了多项原创性成果，形成了地上地下全空间一体化智慧管理技术体系，并创新三维属性模型从建设到应用全流程技术方法。2018年11月，智慧地下空间信息平台成果在首届联合国世界地理信息大会上进行新产品发布，平台的先进性获得了行业内的一致认可。2019年11月，“智慧地下空间信息平台关键技术及应用”项目成果经专家鉴定，整体达到国内先进水平，其中在地上地下全空间一体化智慧管理技术体系构建、三维属性模型构建与应用方面达到国内领先水平。此外，“智慧地下空间信息平台”科技查新结论为“除自身相关资料外，未见相同的文献报道”，验证了项目核心技术的新颖性和创造性。综上，智慧地下空间信息平台构建关键技术及平台产品功能相对于国内同行业公司产品具有一定优势。

四、推广应用情况

1、推广、应用情况及社会评价（限 2000字）

1、应用情况

项目成果已成功应用于14个地下空间信息化相关项目，取得了显著的社会经济效益，并获得了中国地质调查局、宿州市城市管理局、阜阳市住建委等用户单位的充分肯定，为类似工程实施提供了成果转化示范样本。项目成果具体应用如下。

(1) 项目成果成功应用于河北雄安新区地下空间开发利用管理与辅助决策系统软件开发项目。鉴于新区高标准建设要求，公司以最高规格推进雄安地下空间信息化建设。通过研究地下空间对象时空表达、快速建模、智能分析、评价服务等理论体系、技术方法、标准体系，实现新区基础地理、地表城市三维模型、地下管廊与构（建）筑物三维模型、三维地质模型等城市级数据的统一管理、一体化表达和智能服务。同时，借助空间分析算法、评价模型等技术手段对空间对象进行分析，规划各类设施的最优位置，支撑城市管理者制定重大工程最优化决策方案，进而为雄安新区提供了多元化地下空间信息服务，促进新区智慧化运行。

(2) 项目成果成功应用于杭州城市地质大数据信息服务与决策支撑平台建设项目。通过构建“钱江新城一期”4平方公里地上地下一体化三维模型，实现对DEM、地表构（建）筑物、地下空间设施、地质体等三维模型数据的综合管理及一体化显示；通过研发多源数据管理子系统、地上地下三维一体化分析评价子系统、多网融合地质环境监测子系统、政府决策子系统、地质工作政府服务子系统及杭州城市地质信息服务APP，构建了基础数据共享、空间管理精细、决策科学精准、部门工作协同的城市地质大数据信息服务与决策支撑平台，为保障杭州市地下空间智能管理与科学精准决策提供强健支撑，有力推动地下空间信息融入城市规划、建设、管理全流程，提升杭州市地下空间信息化服务水平。

(3) 项目成果成功应用于天府新区成都直管区三维地质结构模型建设项目。通过建立覆盖地下空间数据入库、分析应用、三维可视化、数据共享全过程的地下空间信息平台，实现城市地质、地表三维、地下构（建）筑物等各类地上地下全空间二三维数据的一体化管理与可视化展示，为成都市地质信息管理与地下空间开发利用提供了有利的技术支撑与信息服务，有效促进成都市地质信息管理工作的科学化、规范化、高效化。

(4) 项目成果成功应用于宿州市智能管网PPP项目。通过将地上地下一体化理念融入到从“普查、会诊、治病、动态监管”到“长效运维”的地下管网闭环管理体系中，突破目前地下管网单一设施要素的信息化管理，实现为地下管网智慧化建设提供“一站式”地下空间信息服务的目的。借助地上地下全空间一体化智慧管理技术，将城市管线融入到地下空间这一整体，实现以地下管线为重点的城市整体地下空间“一张图”管理，有助于为宿州管线管理工作提供基础的地下空间信息服务，为管理部门提供科学的管线管理决策依据，全面提升宿州市地下管线综合管理能力，为下一步宿州市地下空间透明化管理夯实基础。

(5) 项目成果成功应用于阜阳市城市管理综合运行调度中心项目。通过地上地下三

维一体化子系统逼真还原城市地上地下空间对象（地下管网、环卫、路灯、桥梁、井盖等），并实现对城市地上地下全空间数据的高效组织和管理，有助于城市管理者整体掌握城市运行态势，全方位提升阜阳城市综合监管效能。

2、推广情况

智慧地下空间信息化领域市场前景可期、用户需求旺盛，且公司相关核心技术已成熟，符合市场、用户和技术三个层面的推广应用条件。项目成果已在雄安新区、成都、杭州、宿州等14个项目中得到推广应用，下一步公司将采取存量客户单独推广、打包推广、市场宣传、合作推广四项措施在全国范围内进行推广。

3、预期应用前景

地下空间为内涵式扩大城市土地供给提供了新途径，向地下“要空间、要资源、要安全”是人类发展到一定阶段的必然选择。在数字中国建设不断推进和新型智慧城市加速落地的大背景下，智慧城市建设需要地上地下时空数据资源，需要三维地下空间数据及各类自然资源要素的数量、质量、时空分布来支撑自然资源管理的需求。除此之外，城市地下空间规划、管理、运营维护与防灾安全管理也均离不开全面了解和精准掌握城市地下空间基础数据。随着政策红利的释放，以及市场的需求，我国智慧地下空间将迎来新一轮快速发展机遇。

项目瞄准地下空间信息化服务蓝海，服务地下空间“全要素”精细探测、地下空间“全资源”整体评价、地下空间“全空间”协同规划和地下空间“全环境”监测预警，以信息化手段助力地下空间精细化管理和智慧化决策。项目成果可为城市地下空间规划、建设、管理和运行提供全方位、高效的信息服务，为新型智慧城市建设提供技术支撑，有力推动城市地下空间精细化管理、高效化利用、智慧化决策。随着智慧地下空间的进一步渗透，越来越多示范工程的落地，智慧地下空间模式将逐渐成为标配。